



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑰ Offenlegungsschrift
⑰ DE 197 11 124 A 1

⑮ Int. Cl. 5:
G 01 T 1/36
G 01 T 1/20

AB

DE 197 11 124 A 1

⑯ Innere Priorität:
196 09 360.0 11.03.96

⑰ Anmelder:
Eberline Instruments GmbH Strahlen- und
Umwelt-Messtechnik, 91056 Erlangen, DE

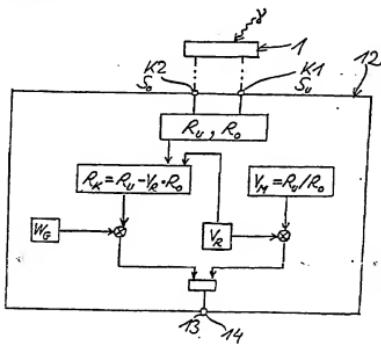
⑯ Vertreter:
E. Tergau und Kollegen, 90482 Nürnberg

⑰ Erfinder:
Trost, Norbert, 91056 Erlangen, DE; Iwatschenko,
Michael, Dr., 91058 Erlangen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung

⑯ Zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung wird ein organischer Szintillator (1) eingesetzt. Gemessene Daten (R_U , R_O , V_M) einer Impulsamplitudenverteilung werden verglichen mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter (V_R).



DE 197 11 124 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingebrachten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI - 09.97 - 702 045/715

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen sowie bei anderen Anwendungen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes steht häufig die Trennung zwischen künstlich erzeugten Strahlenquellen und einem meist dominanten Beitrag natürlicher vorhandener Radioaktivität und deren Schwankungen im Vordergrund. Zur Erkennung künstlicher Gammastrahlen ist es bekannt, mit Hilfe der Gammaskintroskopie einzelne Gammalinen zu identifizieren und quantitativ auszuwerten. Dieses Meßverfahren benötigt jedoch lange Meßzeiten und einen hohen apparativen Aufwand.

Mit bekannten quantitativen Meßverfahren (z. B. Dosiseinstellungsmessnetz zur Früherkennung radioaktiver Luftmassen oder Durchfahrtskontrollsystem für Fahrzeuge) kann selbst bei statistisch signifikanten Erhöhungen der Gammastrahlungssintensität nur schwer oder überhaupt nicht unterschieden werden, ob es sich um einen Anstieg der natürlichen Gamma-Umgebungsstrahlung oder um das Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers handelt.

Insbesondere stark abgeschirmte künstliche Gammastrahler (zufällige Abschirmung durch z. B. eine Schrottladung oder bewußte Bleibeschirmung im Falle eines Schmuggels von Nuklearmaterial) können mit den bekannten Meßverfahren häufig nicht erkannt werden. Die Ursache hierfür liegt einerseits darin, daß die bei der Gammaskintroskopie verwendeten Detektoren (anorganische Szintillationskristalle, hochauflösende Germanium-Detektoren) nur bedingt für Messungen an bewegten Transportfahrzeugen oder für Messungen mit einem Meßfahrzeug während schneller Fahrt geeignet sind, da bei den Meßzeiten von typischerweise 100 ms bis zu wenigen Sekunden die nur noch schwach ausgeprägten Photopeaks (= voller Energieübertrag der Primärstrahlung an den Detektor) nicht statistisch sicher erfaßt werden. Andererseits führen der in vielen Fällen große Abstand zwischen Detektor und radioaktiver Quelle sowie deren mögliche Abschirmung dazu, daß sich die zusätzliche Gammastrahlungssintensität auch sehr starker Strahler häufig nur im Bereich der lokal gemessenen Gammastrahlungssintensität des natürlichen Strahlenfelds liegt. So wird z. B. bei einem Transportmittel (z. B. LKW oder Eisenbahnwaggon) zum Transport der Strahlungsquelle aufgrund der Stahlkonstruktion des Transportmittels ein beträchtlicher Anteil der Umgebungsstrahlung von vornherein abgeschirmt. Die vom Detektor am einfahrenden Transportmittel gemessene Zählrate wird um bis zu 50% abgesenkt. Eine schwache Strahlungsquelle, welche diesen Absenkoeffekt nicht übercompensieren kann, wird deshalb mit den herkömmlich eingesetzten Meßsystemen nicht erkannt.

Die Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine eindeutige Erkennung künstlicher Gammastrahlung zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmalskombinationen der Ansprüche 1 und 8 gelöst. Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, daß ein Detektor aus organischem Szintillationsmaterial (Flüssig- oder Plastik-Szintillator) aufgrund seiner schlechten spektroskopischen Eigenschaften (die niedrigen Ordnungszahlen der Kohlenwasserstoffe bewirken einen fast ausschließlichen Energieübertrag über Comptoneffekt) äußerst robust gegenüber spektralen Details der Umgebungsstrahlung

ist. Es entsteht eine charakteristische Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung (Umgebungstrahlung) unabhängig von deren Strahlungsintensität und örtlichen Schwankungen. Diese Kennlinie weist also einen charakteristischen Verlauf auf und wird allenfalls – abhängig von der gemessenen absoluten Impulsanzahl – angehoben oder abgesenkt. Diese Charakteristik ist ebenso durch einen oder mehrere bestimmte Referenzparameter repräsentierbar, welche von der Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleitet werden können. Dieser bzw. diese Referenzparameter wird bzw. werden verglichen mit aktuell gemessenen und gegebenenfalls durch Weiterverarbeitung ermittelten Daten (= Meßdaten) einer Impulsamplitudenverteilung. Am Meßgegenstand fallen noch weiterverarbeiteten Vergleichsergebnis kann eindeutig auf das Vorhandensein künstlicher Gammastrahlung (= die in der natürlichen Umgebung normalerweise nicht vorhandene Gammastrahlung) oder auf das Fehlen künstlicher Gammastrahlung geschlossen werden.

Bei dem Referenzparameter handelt es sich z. B. um eine Steigung der Referenz-Impulsamplitudenverteilung, die im Meßbetrieb mit aktuellen Meßdaten verglichen wird.

In einer besonders einfachen Ausgestaltung des Meßverfahrens werden zwei Impulsamplitudenschwellen festgelegt. Eine Oberschwelle wird so gesetzt, daß bei Verwendung eines geeigneten Präzistrahlers (z. B. Cs-137; in diesem Fall ist Cs-137 oder eine demgegenüber niedrigerenergetische Quelle im Meßbetrieb der gesuchte Gammastrahler) über die Oberschwelle nur noch wenige oder überhaupt keine zusätzlichen Impulse gelangen. Die Oberschwelle wird also in den Bereich der größten erwarteten Impulsamplituden des Gammastrahlers gesetzt. Dieser Bereich kann auch einen Schwellwert oberhalb der größten erwarteten Impulsamplituden des Gammastrahlers beinhalten. Eine Unterschwelle wird unterhalb der Oberschwelle gesetzt. Vorzugsweise wird diese Unterschwelle so tief wie möglich, d. h. gerade oberhalb der elektronischen Rauschgrenze, gesetzt. Für beide Schwellen wird im Meßbetrieb jeweils die integrale Zählrate, d. h. die Zählrate aller Impulse mit im Vergleich zur Schwelle größeren Impulsamplituden gemessen. Diese aktuell gemessenen Zählraten bilden dann die Meßdaten. Bei natürlicher Umgebungsstrahlung ändern sich die beiden Meßdaten lediglich in dem durch die Charakteristik der natürlichen Gammastrahlung vorgegebenen Verhältnis. Bei Vorhandensein künstlicher Gammastrahler steigt durch die zusätzlichen Impulse lediglich die integrale Zählrate der Unterschwelle an. Die integrale Zählrate der Oberschwelle hingegen steigt nur unwesentlich oder überhaupt nicht an. Diese Anomalie wird beim Vergleich mit den Referenzdaten erkannt. Auf diese Weise können selbst schwache künstliche Gammastrahler von der natürlichen Umgebungsstrahlung eindeutig unterschieden und erkannt werden.

Vorzugsweise wird die Oberschwelle so festgelegt, daß durch die Messung ihrer Zählrate die meisten der künstlichen Nuklide erfaßt werden. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Oberschwelle in den Bereich der größten Impulsamplituden von Cs-137 gesetzt wird. Um auch höherenergetische Gammastrahler (z. B. Co-60) erfassen zu können, kann gleichzeitig mindestens eine weitere Oberschwelle oberhalb der ersten Oberschwelle festgelegt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Referenz-

parameter das bei natürlicher Gammastrahlung ermittelte Referenz-Zähleratenverhältnis beider Schwellen. Aufgrund der oben erläuterten, im wesentlichen konstanten Zähleratenverteilung der natürlichen Gammastrahlung handelt es sich bei diesem Referenzparameter um einen im wesentlichen konstanten Wert. Das Referenz-Zähleratenverhältnis kann deshalb vor dem Melbetrieb durch eine einfache Initialisierungsmessung festgelegt werden oder von früheren Initialisierungsmessungen übernommen werden.

Um einen besonders einfachen, rechenaufwendigen Vergleich zwischen den aktuell gemessenen Zähleraten und der Referenz-Impulsamplitudenverteilung oder dem Referenzparameter zu erzielen, wird aus beiden einander zugeordneten, aktuell gemessenen Zähleraten ein Meß-Zähleratenverhältnis gebildet. Vorausweise wird dieses Meß-Zähleratenverhältnis mit dem Referenz-Zähleratenverhältnis verglichen. Stimmt das Meß-Zähleratenverhältnis mit dem Referenz-Zähleratenverhältnis überein oder liegt das Meß-Zähleratenverhältnis innerhalb eines durch das Referenz-Zähleratenverhältnis vorgegebenen Toleranzbandes, so ist kein künstlicher Gammastrahler vorhanden. Andernfalls – z. B. bei einer Abweichung der beiden Zähleratenverhältnisse von über 20% voneinander – kann zuverlässig auf das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung geschlossen werden. Dieser Vergleich ermöglicht ohne komplizierte Auswerteverfahren einen qualitativen Nachweis (ja/nein-Bestimmung) künstlicher Gammastrahler. Um sämtliche künstliche Nuklide nachzuweisen zu können, werden einfach mehrere Meß-Zähleratenverhältnisse aus unterschiedlichen Oberschwellen und zugeordneten Unterschwellen gebildet und jeweils mit einem entsprechenden Referenz-Zähleratenverhältnis verglichen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Intensität von erkannten Gammastrahlern bestimmt. Hierbei wird vorausweise das Referenz-Zähleratenverhältnis mit der aktuell gemessenen Zählerate der Oberschwelle multipliziert. Dieses Produkt wird mit der aktuell gemessenen Zählerate der Unterschwelle verglichen, wobei die Differenz zwischen beiden Werten eine sogenannte kompensierte Zählerate eines künstlichen Gammastrahlers ergibt. Bei natürlicher Umgebungsgammastrahlung ist diese kompensierte Zählerate angenähert Null. Überschreitet die kompensierte Zählerate hingegen einen vorgegebenen Grenzwert, so kann ein Signal ausgelöst werden, welches das Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers anzeigen. Dieser Vergleich zwischen den gemessenen Zähleraten und einem Referenzparameter ermöglicht verfahrenstechnisch einfach sowohl eine qualitative Nachweis (= Überschreiten des Grenzwertes) der künstlichen Gammastrahler als auch eine quantitative Bestimmung der Intensität bzw. Dosisleistung der künstlichen Gammastrahlung. Die Höhe der kompensierten Zählerate, d. h. die Intensität der künstlichen Gammastrahlung, lässt einen Schluss über die Stärke der Strahlungsquelle und den Umfang von zu erwartenenden Strahlenschäden zu.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine weitere Impulsamplitudenschwelle zur Messung der integralen Zählerate der natürlichen Höhenstrahlung festgelegt. Die Zählerate der natürlichen Höhenstrahlung wird dann von den gemessenen Zähleraten der Unterschwellen und Oberschwellen subtrahiert. Durch Berücksichtigung dieser sehr hochenergetischen Meßbereigrenze (> ca. 3 MeV) wird die Genauigkeit des Meßverfahrens insbesondere in Gebieten mit sehr geringer natürlicher Gammastrahlung oder hoher kosmischer Strah-

lungssintensität (z. B. Gebirge, Hochebenen) verbessert. In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signalisiert. Ebenso kann das Fehlen von künstlicher Gammastrahlung angezeigt werden.

Die erfundengemäße Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahler enthält einen organischen Szintillator. Dieser Detektor kann kostengünstig in großen Volumina gefertigt werden. Damit können bei verhältnismäßig geringem apparativem Kostenaufwand Messungen in kurzer Melzeit mit der erforderlichen

statistischen Signifikanz durchgeführt werden. In einer vorteilhaften Ausführungsform weisen Detektoren mit Volumina über etwa 11 eine Geometrie mit ca. 5–10 cm Dicke auf. Hierdurch lässt sich ein besonders günstiges Verhältnis der Empfindlichkeit für Gammastrahler mittlerer Energie erzielen. Außerdem enthält die Vorrichtung eine an den Szintillator angeschlossene Messeinheit zur Messung von Daten (diese Meßdaten werden gegebenenfalls durch eine nach der eigentlichen Messung erfolgende Weiterverarbeitung ermittelt) einer Impulsamplitudenverteilung und einer Verarbeitungseinheit zum Vergleich der Meßdaten mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplituderverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter.

Die Verarbeitungseinheit ist vorzugsweise Bestandteil eines Mikroprozessorsystems oder besteht aus einem derartigen Mikroprozessor. Dies unterstützt eine rasche Verarbeitung der von der Meßvorrichtung erhaltenen Meßdaten. Gleichzeitig unterstützt diese Verarbeitungseinheit einen konstruktionstechnisch einfachen Aufbau der Meßvorrichtung und deren handhabungsfreundliche Bedienung. Außerdem ermöglicht die mikroprozessorgesteuerte Verarbeitungseinheit eine schaltungstechnisch einfaches Anschließen weiterer Verarbeitungsmittel, z. B. einer Datenverarbeitungsanlage. Mit Hilfe dieser Datenverarbeitungsmittel lassen sich die von der Meßvorrichtung erfassten Meßdaten und Vergleichsergebnisse bequem weiterverarbeiten und z. B. in Form von Tabellen oder Grafiken darstellen.

In vorteilhafter Weiterbildung weist die Vorrichtung mindestens zwei an den Szintillator angeschlossene Komparatoren auf, wobei ein Komparator einer Oberschwelle (oder mehrere Komparatoren jeweils einer Oberschwelle) im Bereich der größten erwarteten Impulsamplituden eines geeigneten Gammastrahlers (z. B. Cs-137) und oberhalb der größten erwarteten Impulsamplituden dieses Gammastrahlers zugeordnet ist und ein zweiter Komparator der Unterschwelle unterhalb dieser Oberschwelle zugeordnet ist. Mit Hilfe der an die Komparatoren angeschlossenen Messeinheit werden die beiden integralen Zähleraten der beiden Schwellen gemessen. Vorausweise handelt es sich bei den Komparatoren und der Messeinheit um herkömmliche, auch bei Spektrometern verwendbare Bauteile. Die erfundengemäße Vorrichtung kann deshalb mit einem hohen Anteil handelsüblich vorkonfektionierter Bauteile verhältnismäßig kostengünstig zusammengebaut werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung enthält die Verarbeitungseinheit einen Speicher zum Ablegen der Referenz-Impulsamplituderverteilung und/oder des Referenzparameters der natürlichen Gammastrahlung. Hierdurch können einmalig abgespeicherte Referenzwerte

beim Meßbetrieb immer wieder von neuem zum Vergleich mit den aktuell gemessenen Meßdaten herangezogen werden. Initialisierungsmessungen zum Bestimmen eines oder mehrerer Referenzwerte vor jedem neuen Meßbetrieb sind deshalb überflüssig. Dies wirkt sich zeit- und kostensparend beim Betrieb der Meßvorrichtung aus.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung enthält die Verarbeitungseinheit eine Rechneinheit zur Berechnung eines Meß-Zählratenverhältnisses aus den aktuell gemessenen Zählraten der Oberschwelle und der Unterschwellen.

Vorzugsweise enthält die Verarbeitungseinheit eine Rechneinheit zur Berechnung einer kompensierten Zählrate, welche sich aus der Differenz der gemessenen Zählrate der Unterschwelle und einem weiteren Wert ergibt. Dieser weitere Wert ist das Produkt aus der gemessenen Zählrate der Oberschwelle und einem Referenz-Zählratenverhältnis (= Referenzparameter) beider Schwellen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform enthält die Meßvorrichtung einen zusätzlichen Komparator, welcher einer sehr hochenergetischen Impulsamplitudenschwelle zugeordnet ist. Mit Hilfe dieser Schwelle kann die Meßvorrichtung eine integrale Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung oberhalb dieser Schwelle messen und verarbeiten. Diese Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung wird in der Verarbeitungseinheit von den aktuell gemessenen Zählraten der Oberschwelle und Unterschwelle schaltungstechnisch oder mit Hilfe eines Mikroprozessors subtrahiert. Auf diese Weise verhindert die Meßvorrichtung fehlerhafte Messungen der integralen Zählraten von Oberschwelle und Unterschwellen.

Die Verarbeitungseinheit vergleicht die gegebenenfalls verarbeiteten Meßdaten mit den charakteristischen Referenzdaten. Weicht das Ist-Vergleichsergebnis von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis (= entweder ein einzelner Wert oder ein Toleranzband) ab, löst die Verarbeitungseinheit in einer bevorzugten Ausführungsform ein Signal aus, welches über geeignete Signalisierungsmittel (z. B. LED, Relais) dem Benutzer das Vorhandensein künstlicher Gammastrahlung zuverlässig anzeigen. Ebenso können an die Verarbeitungseinheit Signalisierungsmittel zur Anzeige eines Fehlens künstlicher Gammastrahlung angeschlossen sein.

Der Erfindungsgegenstand wird anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Meßvorrichtung zur Erkennung eines künstlichen Gammastrahlers,

Fig. 2 eine normierte Zählratenverteilung in Abhängigkeit von Schwellwerten der Gammastrahlung für Cs-137, für Co-60 und die natürliche Umgebungsstrahlung,

Fig. 3 ein Funktionschema des Meßverfahrens,

Fig. 4 die integrale Zählrate für die Unterschwelle der natürlichen Gammastrahlung während einer Stadtfahrt,

Fig. 5 die integrale Zählrate gemäß Fig. 4 beim mehrfachen Passieren eines Cs-137-Strahlers,

Fig. 6 das gemessene Zählratenverhältnis der Oberschwelle und Unterschwelle für die natürliche Gammastrahlung während der Stadtfahrt und

Fig. 7 das gemessene Zählratenverhältnis der Schwellen gemäß Fig. 6 beim mehrfachen Passieren des Cs-137-Strahlers gemäß Fig. 4.

Die Meßvorrichtung gemäß Fig. 1 detektiert γ -Quanten mit Hilfe eines organischen Szintillators 1. Die Lichtquanten des Szintillators 1 werden von einem nachge-

schalteten Photomultiplier 2 gewandelt. Der Szintillator 1 und der Photomultiplier 2 sind zu einer Detektoreinheit 3 zusammengefaßt. An die Detektoreinheit 3 sind in der herkömmlichen Szintillationszählern üblichen Weise 5 ein Arbeitswiderstand 4, ein Hochspannungsgenerator 5, ein Kondensator 6 und ein Verstärker 7 angeschlossen. An den Ausgang des Verstärkers 7 wiederum sind vier parallelgeschaltete Komparatoren K1-K4 angegeschlossen. Der Komparator K1 ist einem Schwellwert 10 S1 zugeordnet, der vorzugsweise im Bereich der niedrigsten Impulsamplituden der Gammastrahlung positioniert ist (Fig. 2). Der Komparator K2 ist einem Schwellwert S2 zugeordnet, der im Bereich der größten Impulsamplituden eines geeigneten künstlichen Gammastrahlers 15 (hier: Cs-137-Strahler) angesiedelt ist. Der Komparator K3 ist einem Schwellwert S3 zugeordnet und im Impulspektrum bzw. Zählratenpektrum im Bereich der größten Impulsamplituden eines gegenüber dem Schwellwert S2 höherenergetischen künstlichen Gammastrahlers (hier: Co-60) angeordnet. Der Komparator K4 ist einem Schwellwert S4 zugeordnet, der zur Messung der integralen Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung dient. In weiteren, hier nicht dargestellten Ausführungsformen enthält die Meßvorrichtung lediglich 20 die Komparatoren K1/K2 oder K1/K2/K4 oder K1/K2/K3, wodurch der Schaltungsaufwand der Meßvorrichtung kostensparend reduziert ist.

An die Ausgänge der Komparatoren K1-K4 ist eine Messeinheit 8 angeschlossen, welche jedem Schwellwert zugeordnet alle Impulse mit im Vergleich zu dem Schwellwert größeren Impulsamplituden registriert. Daraus berechnet die Messeinheit 8 oder eine daran angeschlossene Rechneinheit 9 zu jedem Schwellwert S eine integrale Zählrate R aller Impulse mit einer Impulsamplitude $\geq S$.

Die Messeinheit 8 ist an eine Verarbeitungseinheit 10 angeschlossen, welche die Rechneinheit 9 und eine Speichereinheit 11 enthält. In Fig. 1 sind die Einheiten 8, 9, 11 Bestandteile eines Mikroprozessorsystems 12. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind die einzelnen Baueinheiten durch Analogschaltungen realisiert.

In der Speichereinheit sind ein oder mehrere später noch zu erläuternde charakteristische Referenzparameter abgelegt, welche für den Szintillator 1 bei natürlicher Gammastrahlung ermittelbar sind. Die im Meßbetrieb von der Messeinheit 8 aktuell gemessenen Zählraten R werden mit dem Referenzparameter oder den Referenzparametern verglichen. Bei einem ganz bestimmten Vergleichsergebnis, d. h. einem Über- bzw. Unterschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes, werden von der Verarbeitungseinheit 10 daran angeschlossene Signalisierungsmittel angesteuert, um den Benutzer das Vergleichsergebnis (= künstliche Gammastrahlung vorhanden/nicht vorhanden) optisch oder akustisch mitzuteilen. In Fig. 1 sind an der Verarbeitungseinheit 10 als Signalisierungsmittel beispielhaft eine erste Leuchtdiode 11 als Signalisierungsmittel, beispielhaft eine zweite Leuchtdiode 14 angeschlossen. Mit Hilfe einer an die Verarbeitungseinheit 10 angeschlossenen Schnittstelle 15, z. B. einem V24-Treiber/Empfänger, kommuniziert die Meßvorrichtung mit peripheren Datenverarbeitungsmitteln, z. B. einer Rechneranlage. Für diese Kommunikation enthält die Schnittstelle 15 eine Spannungsversorgung +12 V/GND und verschiedene Signalleitungen, welche beispielhaft als RD, TD, RTS und CTS dargestellt sind. Über einen Signalausgang 16 ist die Verarbeitungseinheit 10 an einen Digital/Analog-Wandler 17 angeschlossen, welcher wie-

derum in der üblichen Weise den Hochspannungsgenerator 5 ansteuert.

Beim organischen Szintillator 1 bleibt die Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung in ihrer charakteristischen Form derart erhalten, daß deren integrale, von den Schwellwerten S abhängige Zählratenverteilung unabhängig von örtlichen Schwankungen eine im wesentlichen konstante Kennlinie ergibt (Fig. 2). Von diesem charakteristischen Impulsamplitudenspektrum oder der Zählratenverteilung sind deshalb ein oder mehrere charakteristische Referenzparameter der natürlichen Gammastrahlung ableitbar. Bei einem Vergleich der aktuell gemessenen Zählraten R_U und R_O mit dem Referenzparameter oder den Referenzparametern kann dann eindeutig das Vorhandensein künstlicher Gammastrahler erkannt werden. Für diesen Vergleich wird der für künstliche Gammastrahler (z. B. die relevanten Strahler Cs-137, Ir-192, U-235, Pu-239) und natürliche Gammastrahler unterschiedliche Energieübertrag auf die Detektoreinheit 3 ausgenutzt. In einer bevorzugten Ausführungsform werden zwei Impulsamplitudenschwellen verwendet, eine Unterschwellen S_U und eine Oberschwellen S_O . Gemäß Fig. 2 – die Impulsamplitudennachse ist hier beispielhaft in der Einheit "mV" eingetragen – bewirkt ein Cs-Prüfstrahler oberhalb von etwa 600 mV keine zusätzlichen Impulse, während dort die natürliche Umgebungsstrahlung noch eine nennenswerte Impulszahl aufweist. Die Oberschwellen $S_O = S_2$ liegt deshalb vorzugsweise zwischen 600–700 mV. Um eine größtmögliche statistische Signifikanz zu erzielen, wird die Unterschwellen $S_U = S_1$ zwischen 20–50 mV positioniert. Eine zweite Oberschwellen $S_O = S_3$ ist in den Bereich der größten Impulsamplituden eines Co-Prüfstrahlers, also zwischen 1200–1300 mV positioniert. Die Höhenschwelle S_4 zur Messung der integrales Zählrate der natürlichen Höhenstrahlung ist vorzugsweise in dem Impulsamplitudenbereich zwischen 3000–4000 mV positioniert (in Fig. 2 nicht dargestellt).

Der Vergleich der gemessenen Zählraten R_O für die Oberschwellen S_O und R_U für die Unterschwellen S_U mit einem charakteristischen Referenzparameter wird anhand von Fig. 3 erläutert. In einer besonders einfachen Weise wird der Referenzparameter als ein bei natürlicher Gammastrahlung vorhandenes Referenz-Zählratenverhältnis V_R ermittelt, wobei gilt:

$$V_R = R_U / R_O$$

Für dieses Referenz-Zählratenverhältnis V_R ergibt sich – je nach Detektorgeometrie und Schwellenwahl – typischerweise ein Wert von ca. 10. Dieser Wert kann beispielweise durch eine Initialisierung der Meßvorrichtung vor dem eigentlichen Meßbetrieb gewonnen werden. Hierzu wird für einen bestimmten Zeitraum (z. B. ca. 10 s) im natürlichen Strahlungsfeld die Zählraten R_U und R_O bestimmt. Zur Überprüfung, ob für den Referenzparameter ein geeigneter Wert festgelegt wurde, kann zuvor eine Testmessung mit geeigneten Prüfstrahlern durchgeführt werden.

Während des Meßbetriebes wird in der Verarbeitungseinheit 10 aus den beiden aktuell gemessenen Zählraten R_U und R_O ein Meß-Zählratenverhältnis V_M berechnet. Dieses Meß-Zählratenverhältnis V_M wird mit dem Referenz-Zählratenverhältnis V_R verglichen. Bei Vorhandensein künstlicher Gammastrahler wird die gemessene Zählrate R_U größer, so daß das Meß-Zählratenverhältnis V_M gegenüber dem Referenz-Zählratenverhältnis V_R ansteigt. Somit kann mit diesem Vergleich

zuverlässig erkannt werden, daß ein Cs-137-Strahler bzw. ein demgegenüber niedrigerenergetischer Nuklid vorhanden ist. Wird ein ganz bestimmtes Nuklid mit gegenüber Cs-137 niedrigerenergetischer Gammastrahlung gesucht (z. B. Ir-192, Pu-239, U-235), so kann die Oberschwellen S_O entsprechend abgesenkt positioniert werden. Das gegenüber Cs-137 höherenergetische künstliche Nuklid Co-60 wird mittels des Meß-Zählratenverhältnisses V_M für $S_U = S_1$ und $S_O = S_2$ nur erkannt, sofern es sich um einen abgeschirmten Co-60-Strahler handelt, da sich in diesem Fall das Energiespektrum durch Comptonsstreuung nach links (niedrigere Gammaenergien) verschiebt. Ein starker freier Co-60-Strahler und in Bezug auf die ausgesandten Gammaenergien vergleichbare künstliche Nuklide werden zuverlässig erkannt, wenn das Meß-Zählratenverhältnis V_M für $S_U = S_2$ und $S_O = S_3$ berechnet und mit einem entsprechenden zuvor ermittelten Referenz-Zählratenverhältnis V_R der natürlichen Gammastrahlung verglichen wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Meßvorrichtung mit entsprechenden Schaltungen und Bedienelementen od. dgl. ausgestattet, welche dem Benutzer eine individuelle Auswahl gestatten, welches künstliche Nuklid auf sein Vorhandensein hin überprüft werden soll. Die Meßvorrichtung mißt dann die Zählraten R_U und R_O für die durch den Benutzer positionierten Schwellwerte S_i .

Zur quantitativen Bestimmung des erkannten künstlichen Gammastrahlers wird in der Rechnereinheit 9 eine kompensierte Zählrate R_K der Form

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

berechnet. Ist im Meßbetrieb kein künstlicher Gammastrahler vorhanden, gilt $R_K \approx 0$. Andernfalls löst die mit dieser Gleichung berechnete kompensierte Zählrate R_K bei Überschreiten eines vorgegebenen Grenzwertes W_G ein Signal aus, welches das Vorhandensein eines künstlichen Strahlers signalisiert. Gleichzeitig läßt die berechnete kompensierte Zählrate R_K einen Rückschluß auf die Intensität des künstlichen Strahlers zu. Bei dem vorgenannten Grenzwert zum Vergleich mit den kompensierten Zählraten R_K handelt es sich entweder um einen fest eingestellten Betrag (Dimension: s^{-1}) oder um einen bestimmten Bruchteil der Gesamtzählrate (entspricht der Zählrate R_U für die Unterschwellen S_U) oder um einen aus statistischen Betrachtungen zur akzeptierten Fehlalarmwahrscheinlichkeit (Erkennungsgrenze) durch das Meßsystem ständig neu berechneten Grenzwert.

Analog kann die kompensierte Zählrate R_K für die beiden Schwellen $S_U = S_2$ und $S_O = S_3$ und das entsprechende Referenz-Zählratenverhältnis $V_R = R_S / R_{S_3}$ ermittelt und mit einem entsprechenden Grenzwert verglichen werden.

Zur automatischen Driftstabilisierung bei der Strahlungsmessung und zur Steigerung der Selektivität der Messungen enthält die Verarbeitungseinheit 10 in einer bevorzugten Ausführungsform elektronische Mittel und/oder einen Prozessor, um Drifteffekte (Temperatur, Elektronik, Witterungseffekte etc.) zu kompensieren. Dies wird erreicht durch ein automatisches "Lernen" des Referenzparameters innerhalb zulässiger Grenzen mit einer einstellbaren Zeitkonstante. Dadurch können absolute Schwankungen des Referenzparameters kompensiert und dessen Bandbreite variiert werden, so daß falsche Meßergebnisse vermieden werden. Dies ist ins-

besondere wichtig für Meßaufgaben, bei denen es auf das Erkennen schneller Veränderungen des Strahlungsfeldes ankommt.

Der Unterschied zwischen dem erfindungsgemäßen Meßverfahren und einer herkömmlichen quantitativen Meßauswertung wird anhand der Fig. 4—Fig. 7 dargestellt: Die im 250 ms-Takt abgespeicherten Meßdaten wurden von einem Meßfahrzeug, welches mit einem Großflächendetektor (50 cm × 100 cm × 5 cm) ausgerüstet ist, ausgemessen. In Fig. 4 ist die über 1 s gleitend gemittelte Gesamtzählrate R_U für den Schwellwert S_1 während einer Stadtfahrt dargestellt. Deutlich erkennbar ist, daß selbst ohne Vorhandensein eines künstlichen Gammastrahlers die Zählrate R_U der natürlichen Gammastrahlung ganz erhebliche Schwankungen aufweist. Hingegen ist das bei dieser Stadtfahrt gemessene Zählratenverhältnis $V_M = R_U/R_O$ für die Schwellen $S_1 = S_1$ und $S_2 = S_2$ im wesentlichen konstant und eignet sich deshalb als Referenzparameter V_R der natürlichen Gammastrahlung (Fig. 9). Um die Auswirkung einer Vorfahrt an einem künstlichen Gammastrahler zu demonstrieren, wurde eine relativ schwache Cs-137-Quelle von 700 kBq mehrmals mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Abständen passiert. Während die Änderungen der gemessenen Zählrate R_U deutlich innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite der während der Stadtfahrt gemessenen Zählrate R_U bleiben (siehe Fig. 4) und deshalb im Meßbetrieb kein zuverlässiges Erkennen eines künstlichen Strahlers ermöglichen, ist der Nachweis einer künstlichen Strahlungsquelle mit Hilfe der vom konstanten Zählratenverhältnis V_R der natürlichen Gammastrahlung abweichenenden Werte des im Meßbetrieb ermittelten Zählratenverhältnisses $V_M = R_U/R_O$ eindeutig gegeben.

Bezugszeichenliste

- 1 organischer Szintillator
- 2 Photomultiplier
- 3 Detektoreinheit
- 4 Arbeitswiderstand
- 5 Hochspannungsgenerator
- 6 Kondensator
- 7 Verstärker
- 8 Messeinheit
- 9 Rechnereinheit
- 10 Verarbeitungseinheit
- 11 Speicherleinheit
- 12 Mikroprozessorsystem
- 13 erste Leuchtdiode
- 14 zweite Leuchtdiode
- 15 Schnittstelle
- 16 Signalausgang
- 17 Digital/Analog-Wandler
- K1—K4 Komparatoren
- R_U integrale Zählrate für die Unterschwelle S_U
- R_O integrale Zählrate für die Oberschwelle S_O
- R_S integrale Zählrate für die Schwelle S
- S, S_1, S_2, S_3 Schwellwert
- S_U Unterschwelle
- S_O Oberschwelle
- S_d Höhenschwelle
- V_M Meß-Zählratenverhältnis
- V_R Referenz-Zählratenverhältnis
- W_G Grenzwert

1. Verfahren zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung mittels eines organischen Szintillators (1), wobei gemessene Daten (R_O, R_U, V_M) einer Impulsamplitudenverteilung mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter (V_R) verglichen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für jedes Oberschwellenwert (So) im Bereich der jeweils erwarteten größten Impulsamplituden der künstlichen Gammastrahlung und für eine der Oberschwellen (So) zugeordneten Unterschwelle (Su) die integralen Zählraten (R_O, R_U) als Meßdaten ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Referenzparameter das bei natürlicher Gammastrahlung ermittelte Referenz-Zählratenverhältnis (V_R) beider Schwellen (S_U, S_O) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei zum Vergleich aus den beiden einander zugeordneten, aktuell gemessenen Zählraten (R_U, R_O) ein Meß-Zählratenverhältnis (V_M) gebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, wobei zum Vergleich der beiden gemessenen Zählraten (R_U, R_O) mit dem Referenz-Zählratenverhältnis (V_R) eine Gleichung der Form

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

gebildet wird mit R_U als Zählrate der Unterschwelle (S_U), mit R_O als Zählrate der Oberschwelle (S_O), mit V_R als Referenz-Zählratenverhältnis und mit R_K als komensierte Zählrate, und wobei die komensierte Zählrate (R_K) mit einem vorgegebenen Grenzwert (W_G) verglichen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die beiden gemessenen Zählraten (R_U, R_O) um eine gemessene integrale Zählrate (R_S) der natürlichen Höhenstrahlung bei einer vorgegebenen Höhenschwelle (S_d) reduziert werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenen Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signaliert wird.

8. Vorrichtung zur Erkennung künstlicher Gammastrahlung mit einem organischen Szintillator (1), mit einer an den Szintillator (1) angeschlossenen Messeinheit (8) zur Messung von Daten (R_O, R_U, V_M) einer Impulsamplitudenverteilung und mit einer Verarbeitungseinheit (10) zum Vergleich der Meßdaten (R_O, R_U, V_M) mit mindestens einem aus einer charakteristischen Referenz-Impulsamplitudenverteilung der natürlichen Gammastrahlung abgeleiteten Referenzparameter (V_R).

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei mindestens zwei an den Szintillator (1) angeschlossene Komparatoren (K1, K2) für eine Oberschwelle (S_O) im Bereich der jeweils erwarteten größten Impulsamplituden der künstlichen Gammastrahlung und für eine der Oberschwelle (S_O) zugeordneten Unterschwelle (S_U) vorgesehen sind zur Messung der integralen Zählraten (R_U, R_O) der beiden Schwellen (S_U, S_O).

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei die

Verarbeitungseinheit (10) eine Speichereinheit (11) zum Ablegen der Referenz-Impulsamplitudenverteilung und/oder des Referenzparameters (V_R) der natürlichen Gammastrahlung enthält.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die Verarbeitungseinheit (10) eine Rechnereinheit (9) zur Berechnung eines Meß-Zählratenverhältnisses (V_M) aus den gemessenen Zählraten (R_U, R_O) enthält.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Verarbeitungseinheit (10) eine Rechnereinheit (9) zur Berechnung der Gleichung

$$R_K = R_U - V_R \cdot R_O$$

enthält mit R_U als Zählrate der Unterschwelle (S_U), mit R_O als Zählrate der Oberschwelle (S_O), mit V_R als Referenz-Zählratenverhältnis und mit R_K als kompensierte Zählrate, und wobei die Verarbeitungseinheit (10) die kompensierte Zählrate (R_K) mit einem vorgegebenen Grenzwert (W_G) vergleicht.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei ein zusätzlicher Komparator (K_4) für eine Höhenschwelle (S_4) vorgesehen ist zur Messung einer integralen Zählrate (R_S4) der natürlichen Höhenstrahlung bei einer vorgegebenen Höhen schwelle (S_4).

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei Signalisierungsmittel (13, 14) vorgesehen sind, welche bei einer Abweichung des bei der Messung ermittelten Ist-Vergleichsergebnisses von einem vorgegebenem Soll-Vergleichsergebnis das Vorhandensein von künstlicher Gammastrahlung signalisieren.

15

35

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

40

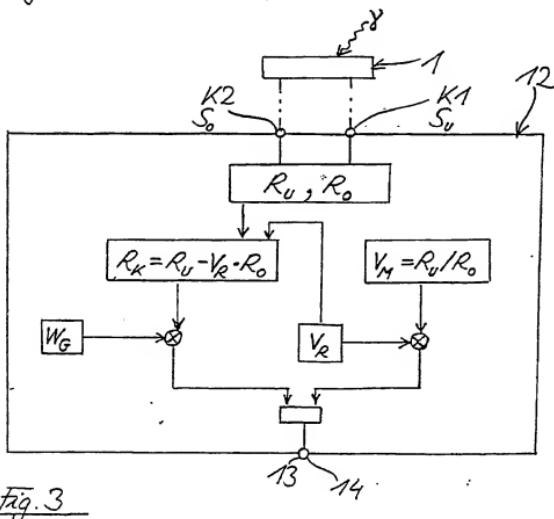
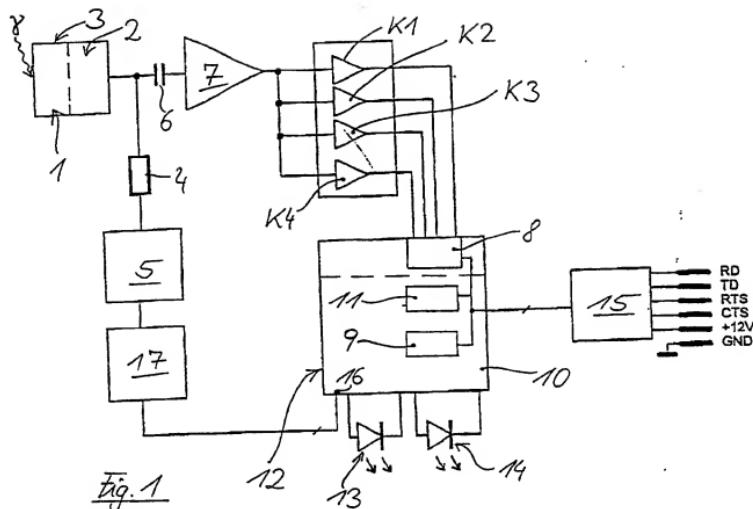
45

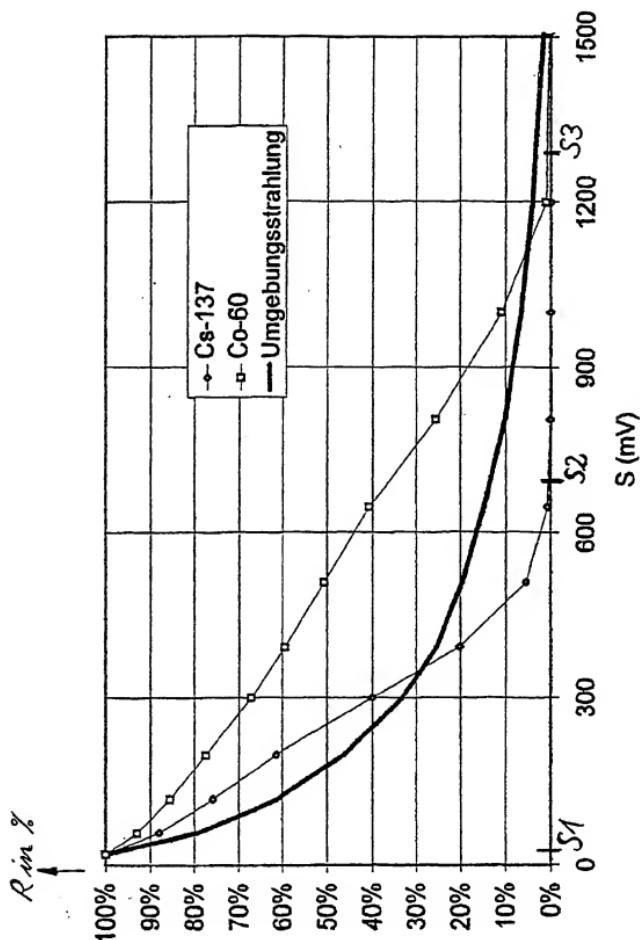
50

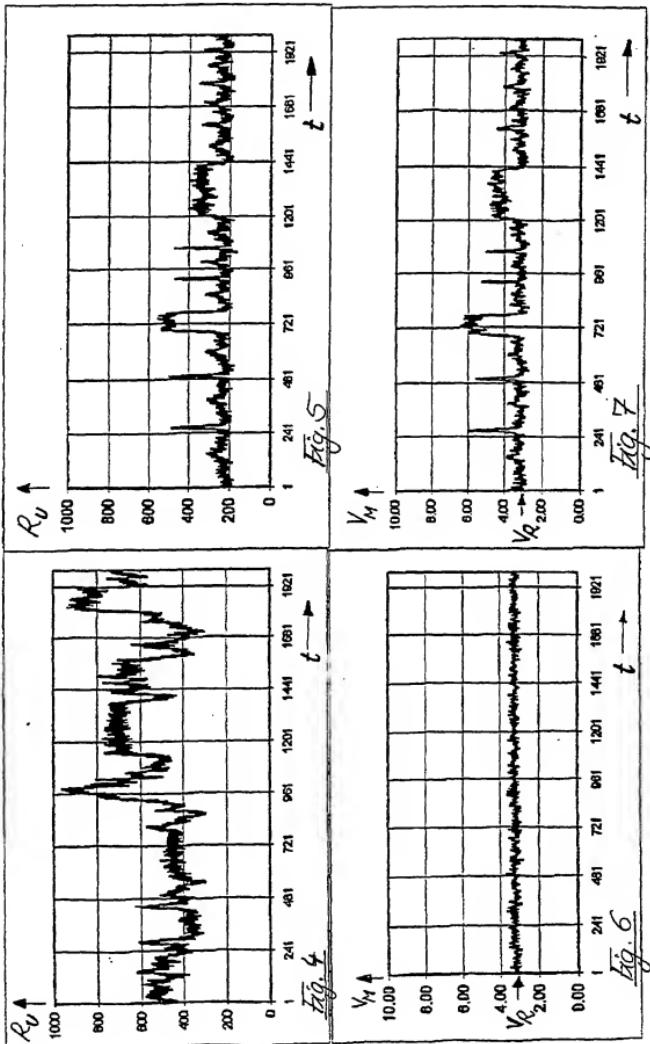
55

60

65







702 045/715